

جایگزینی برخی از خواص بخار سوخت با خواص هوا؛ راهکاری ساده و موثر جهت مدلسازی رفتار تبخیری قطرات سوخت‌های فسیلی و زیستی

امیر امیدوار^۱ و کاظم شعبانی‌زاد^۲

دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا

(نویسنده مخاطب: کاظم شعبانی‌زاد، k.shaaabanizad@sutech.ac.ir)

چکیده

در انواع مختلف ماشین‌های حرارتی، فرآیند تبخیر قطرات سوخت تأثیر مستقیم بر احتراق و به تبع آن انتشار آلاینده‌های خروجی دارد. در این راستا بررسی رفتار تبخیری قطرات سوخت از اهمیت بسزایی برخوردار است. یکی از پیچیده‌گی‌های موجود در مدلسازی تبخیر قطرات سوخت به ویژه در زیست سوخت‌ها، عدم وجود اطلاعات کافی جهت محاسبه خواص ترموفیزیکی فاز بخار در دماهای مختلف است. راهکار پیشنهادی در این پژوهش که به منظور رفع این مشکل مورد ارزیابی قرار گرفته است، جایگزینی خواص هوا با خواص بخار سوخت است. در این مدلسازی، معادلات انتقال انرژی و جرم برای یک تک قطره محاسبه شده‌اند. به منظور اطمینان از صحت محاسبات، نتایج با داده‌های آزمایشگاهی گزارش شده مقایسه و هماهنگی خوبی بین نتایج مشاهده شد. ابتدا مدلسازی با استفاده از تمامی خواص فاز بخار انجام و سپس در ادامه در هر مرحله یکی از خواص هوا جایگزین خواص بخار سوخت شد و رفتار تبخیری قطره سوخت مورد بررسی قرار گرفت. این مراحل هم در هپتان نرمال به عنوان سوخت فسیلی و هم روغن پنبه دانه، که خواص فاز بخار آن گزارش شده است، به عنوان زیست سوخت انجام شد. با توجه به نتایج حاصل مشاهده شد که فرض جایگزینی خواص هوا با خواص بخار سوخت، برای دو خاصیت لزجت و ضریب هدایت گرمایی، هم برای سوخت فسیلی و هم زیست سوخت مورد مطالعه به عنوان نمونه‌هایی از سوخت‌های معمول، خطایی در محاسبات تبخیری قطره وارد نمی‌کند. از میان خواص باقیمانده چگالی به سادگی با فرض رفتار گاز ایده‌آل قابل محاسبه است. در این بین فقط ظرفیت مخصوص حرارتی است که جایگزینی آن با هوا، محاسبات مربوط به تبخیر را دچار خطا می‌کند. در ادامه نحوه کاهش خطای حاصل مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که با افزایش فشار و کاهش دمای محیط خطای حاصل کاهش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: تبخیر - زیست سوخت - قطره

۱- مقدمه

آلودگی یکی از تبعات دنیای صنعتی امروز است. افزایش هشدارهای ناشی از اثرات زیانبار آلودگی هوا باعث پدید آمدن اجبار در اجرای قوانین مبارزه با آن شده است. استفاده روز افزون از سوخت‌های فسیلی در بسیاری از کاربردهای صنعتی از جمله موتورهای احتراق داخلی، کوره‌های صنعتی و دیگر ماشین‌های حرارتی عامل اصلی تولید آلاینده‌های زیست محیطی مانند هیدروکربن‌های سوخته‌نشده، اکسیدهای نیتروژن، منواکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن است. علاوه بر این، افزایش قیمت فرآورده‌های نفتی و کاهش ذخایر موجود، محققان را در جهت یافتن منابع جدید انرژی ترغیب نموده است. به منظور حفظ منابع انرژی موجود و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، گرایش به سمت انرژی‌های نو و سوخت‌های جایگزین امری بدیهی به نظر می‌رسد. در سال‌های اخیر زیست سوخت‌ها به عنوان یکی از جایگزین‌های مناسب برای سوخت‌های فسیلی مطرح شده‌اند. زیست سوخت‌ها منو آلکیل استرهای اسیدهای چرب با زنجیره بلند هستند که از مواد خام چرب تجدیدپذیر مانند روغن‌های

۱- استادیار مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شیراز

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا دانشگاه صنعتی شیراز

گیاهی، چربی‌های حیوانی، پساب و یا فاضلاب‌هایی که منبع آلی دارند و یا حتی از پسماند روغن‌های خوراکی تهیه می‌گردند. سوخت‌های زیستی دارای تنوع بسیاری هستند. در امریکا روغن سویا یکی از مهم‌ترین منابع تولید زیست سوخت است. روغن کانولا، خرما، ذرت، نارگیل و پنبه دانه از جمله دیگر منابع مرسوم تولید زیست سوخت در کانادا و اروپا هستند. در بعضی از کشورها از روغن آفتابگردان و حتی روغن بدست آمده از دانه‌های گوجه‌فرنگی برای تولید زیست سوخت استفاده می‌شود [۱]. از سال ۲۰۰۰ میلادی به بعد بررسی‌های متعددی در زمینه خواص زیست سوخت‌ها و بکارگیری آنها به عنوان سوخت‌های جایگزین در اکثر کاربردهای صنعتی انجام شده است. بررسی تأثیر ساختار شیمیایی زیست سوخت‌ها بر تولید آلاینده‌ها [۳]، روش‌های کاهش اکسیدهای نیتروژن ناشی از احتراق سوخت‌های زیستی [۴]، تعیین خواص برخی از زیست سوخت‌ها [۵-۷]، مقایسه ویژگی‌های قطره‌سازی سوخت‌های زیستی [۸] و همچنین مقایسه خواص افشانه زیست سوخت‌ها با سوخت‌های فسیلی معمول [۹] از جمله مهم‌ترین بررسی‌های انجام شده در این زمینه است. به منظور بررسی میزان انتشار آلاینده‌های خروجی هم در زیست سوخت‌ها و هم سوخت‌های فسیلی، نیازمند درک صحیحی از پدیده احتراق هستیم. تبخیر سوخت تأثیر مستقیم بر احتراق دارد به طوری که تبخیر کند و توزیع غیریکنواخت بخار سوخت، موجب احتراق ناکارآمد شده و به تبع آن انتشار آلاینده‌های خروجی نیز افزایش می‌یابد. همچنین، در موتورهای دیزل به عنوان مثال، یکی از عواملی که باید مورد توجه قرار گیرد برخورد اسپری سوخت با دیواره‌ها به خصوص با سطح پیستون است. برخورد اسپری سوخت با تاج پیستون در شرایط استارت سرد می‌تواند در داخل محفظه احتراق ایجاد دوده نماید. کم بودن نرخ تبخیر قطرات سوخت باعث می‌شود که طول نفوذ قطره به داخل میدان گازی افزایش یافته و به دنبال آن احتمال برخورد قطرات سوخت به جداره‌های جامد افزایش می‌یابد [۲]. بنابراین پیداست که مدلسازی فرآیند تبخیر قطرات سوخت از اهمیت بسزایی برخوردار است. برای بررسی رفتار تبخیری قطرات سوخت‌های مختلف دانستن نحوه تغییر خواص ترموفیزیکی آنها هم برای فاز مایع و هم بخار در دماهای مختلف الزامی است. به دلیل تنوع زیاد سوخت‌ها به ویژه سوخت‌های زیستی، اطلاعات زیادی برای محاسبه این خواص به ویژه برای زیست سوخت‌ها موجود نمی‌باشد. سوخت‌های زیستی مختلف به دلیل تفاوت در ساختار آنها دارای خواص متفاوتی هستند. اکثر تحقیقات انجام شده در سالهای اخیر به منظور محاسبه این گونه خواص در فاز مایع بوده است [۵-۷]. علی‌رغم کارهای انجام شده، هنوز رابطه‌ای که بتواند رفتار دمایی خواص ترموفیزیکی زیست سوخت‌های مختلف را به خصوص برای فاز بخار پیش‌بینی کند، گزارش نشده است. روابط موجود برای فاز بخار بسیار اندک و قابل استفاده برای زیست سوخت‌های محدودی هستند که این امر مدلسازی رفتار تبخیری قطرات سوخت را دچار مشکل می‌کند. با توجه به اهمیت مدلسازی رفتار تبخیری قطرات سوخت از یک طرف و نبود اطلاعات کافی در رابطه با خواص سوخت به خصوص در فاز بخار از طرف دیگر، ارائه یک راهکار برای رفع این مشکل مفید به نظر می‌رسد. یک فرض ساده کننده که به عنوان راهکار پیشنهادی در این پژوهش ارائه شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است، استفاده از خواص هوا به جای خواص بخار سوخت است. این راهکار می‌تواند پیچیدگی حاصل از کمبود یا نبود اطلاعات کافی برای محاسبه خواص بخار سوخت در مدلسازی رفتار تبخیری قطرات سوخت را تا اندازه‌ای مرتفع سازد.

در این پژوهش رفتار تبخیری قطره هپتان نرمال به عنوان سوخت فسیلی و روغن پنبه دانه، که خواص فاز بخار آن گزارش شده است، به عنوان سوخت زیستی مورد مطالعه قرار گرفته است. در ادامه، فرض استفاده از خواص هوا به جای خواص بخار سوخت، به عنوان راهکار پیشنهادی، بررسی شده و صحت آن مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- معادلات حاکم و فرضیات

در این تحقیق به منظور مدلسازی رفتار تبخیری یک تک قطره فرضیات ساده‌کننده‌ای استفاده می‌شود. انتقال حرارت تشعشعی در مقابل انتقال حرارت جابجایی ناچیز فرض شده و صرف‌نظر می‌گردد. از گرادیان دما و غلظت درون قطره چشم‌پوشی می‌شود. قطره را به صورت کروی در نظر گرفته و از تغییرشکل و شکست آن صرف‌نظر می‌شود. به منظور حل

معادلات حاکم، معادلات بقای جرم و انرژی، یک کد صفر بعدی توسعه یافته است که قطر قطره را در هر گام زمانی محاسبه می‌کند.

۱-۲ معادله بقای انرژی

دمای قطره را می‌توان با توجه به تعادل انرژی با در نظر گرفتن نرخ انتقال گرما و تبخیر از روی سطح قطره از رابطه زیر محاسبه کرد [۱۰]:

$$m_d C_{pl} \frac{dT_d}{dt} = -A_s \dot{q}_d'' + h_{fg} \frac{dm_d}{dt} \quad (۱)$$

$$\dot{q}_d'' = h(T_d - T_a) \quad (۲)$$

که در این رابطه A_s سطح قطره و h_{fg} انرژی نهان تبخیر می‌باشد. در رابطه (۲)، h ضریب انتقال حرارت جابجایی بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$h = \frac{Nuk_m}{d} \quad (۳)$$

که در آن d قطر قطره و k_m ضریب هدایت گرمایی میانگین است. برای محاسبه دمای قطره در فشارهای بالا، بهتر است از رابطه زیر استفاده شود [۱۱]:

$$m_d C_{pl} \frac{dT_d}{dt} = -\dot{q}_d + h_{fg} \frac{dm_d}{dt} \quad (۴)$$

$$\dot{q}_d = k_a f d (T_d - T_a) \frac{z}{e^z - 1} Nu \quad (۵)$$

$$z = -\frac{C_{pv} dm_d / dt}{Nuk_a f d} \quad (۶)$$

در معادله فوق z ضریب تصحیح بی‌بعدی است که برای منظور کردن همزمان انتقال جرم در معادلات انتقال حرارت در نظر گرفته شده است. در معادلات (۱) و (۴)، $\frac{dm_d}{dt}$ نرخ تبخیر مایع از سطح قطره است که با توجه به معادله بقای جرم بدست می‌آید.

۲-۲ معادله بقای جرم

معادله کلی برای محاسبه نرخ تبخیر قطره‌ای با قطر d به صورت زیر است [۱۲]:

$$\frac{dm_d}{dt} = f d \dots_m D_{ab} Sh \ln(1 + B_m) \quad (۷)$$

در رابطه (۹) Sh عدد بی‌بعد شروود می‌باشد و طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Sh = 2 + 0.6 Re^{0.5} Sc^{0.33} \quad (۸)$$

که در آن $Re = \dots_a d |V_a - V_d| / \dots_m$ و $Sc = \dots_m / \dots_a D_{ab}$ به ترتیب اعداد بی‌بعد رینولدز و اشمیت برای یک قطره‌اند. V_a و V_d به ترتیب سرعت قطره و گازند. D_{ab} نفوذ جرمی بخار مایع در هوا است که برای تمام سوخت‌ها با فشار رابطه عکس و با دما رابطه مستقیم دارد.

در معادله (۷)، B_m عدد جرمی اسپالدینگ بوده و از معادله (۹) محاسبه می‌شود:

$$B_m = \frac{Y_s - Y_\infty}{1 - Y_s} \quad (9)$$

در رابطه (۹)، Y_s و Y_∞ به ترتیب کسر جرمی بخار در نزدیکی سطح قطره و در فاصله دور از سطح قطره می‌باشند. در اغلب موارد از Y_∞ به دلیل ناچیز بودن صرف‌نظر می‌شود و Y_s از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$Y_s = \left[1 + \left(\frac{P_a}{P_s} - 1 \right) \frac{M_a}{M_l} \right]^{-1} \quad (10)$$

که P_s و P_a به ترتیب فشار محیط و فشار اشباع بخار مایع در نزدیکی سطح قطره و در دمای قطره‌اند و M_l و M_a به ترتیب جرم مولکولی هوا و مایع است. لازم به ذکر است که اندیس m مربوط به خواص ترمودینامیکی مخلوط بخار مایع و هوا می‌باشد. این خواص در دمای میانگین $T_m = (T_d + T_a)/2$ و درصد جرمی $Y_r = (Y_\infty + 2Y_s)/3$ محاسبه می‌شوند. مقادیر لزجت، ظرفیت مخصوص حرارتی و ضریب هدایت گرمایی مخلوط بخار مایع و هوا به صورت زیر می‌باشند:

$$\tilde{m} = Y_r \tilde{m}_v + (1 - Y_r) \tilde{m}_a \quad (11)$$

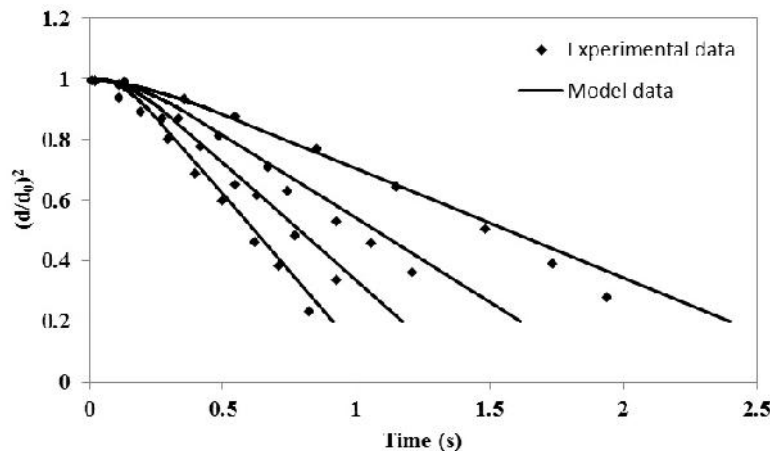
$$C_{pm} = Y_r C_{pv} + (1 - Y_r) C_{pa} \quad (12)$$

$$k_m = Y_r k_v + (1 - Y_r) k_a \quad (13)$$

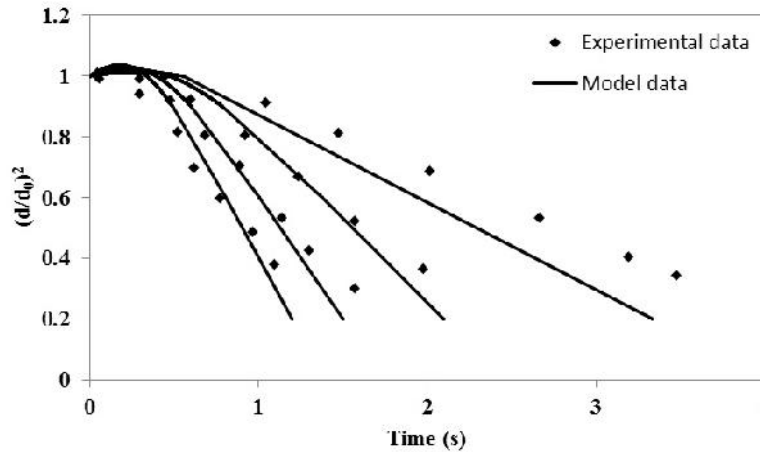
اندیس‌های a و v به ترتیب مربوط به هوا و بخار می‌باشند.

۳- اعتبارسنجی مدل‌سازی عددی تبخیر برای یک قطره

در این بخش به منظور ارزیابی مدل عددی ارائه شده، تغییرات زمانی قطر یک تک‌قطره با نتایج آزمایشگاهی موجود در دما و فشارهای متفاوت ارزیابی می‌شود. در گزارش ارائه شده توسط نومورا و همکاران [۱۳]، یک قطره هپتان نرمال معلق در محیط نیتروژن تحت تأثیر فشارها و دماهای مختلف قرار گرفته است. قطر اولیه قطره ۰/۶ تا ۰/۷ میلی‌متر و دمای اولیه آن ۳۰۰ کلوین می‌باشد. آزمایش در شرایط میکروگرواویتی انجام شده است. مقادیر آزمایشگاهی $(d/d_0)^2$ بر حسب زمان برای بازه فشاری ۰/۱ و ۰/۵ مگاپاسکال و بازه دمایی ۴۰۰ تا ۸۰۰ کلوین در شکل ۱ و ۲ آورده شده‌اند و نتایج بدست‌آمده از مدل عددی ارائه شده در این گزارش نیز در شرایط یکسان مقایسه شده‌اند.



شکل ۱- مقایسه تغییرات قطر نسبی برای تبخیر قطره هپتان نرمال بر حسب زمان در دماهای مختلف با نتایج آزمایشگاهی برای فشار ۰/۱ مگاپاسکال



شکل ۲- مقایسه تغییرات قط نسبی برای تبخیر قطره هپتان نرمال بر حسب زمان در دماهای مختلف با نتایج آزمایشگاهی برای فشار ۰/۵ مگاپاسکال

همانطور که مشاهده می‌شود مدل عددی ارائه شده در این پژوهش تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی انجام شده دارد. حال با اطمینان از صحت الگوی ارائه شده، به ارزیابی راهکار پیشنهادی به منظور رفع پیچیدگی مدلسازی تبخیر قطرات سوخت ناشی از نبود خواص فاز بخار برای سوخت‌های مختلف به ویژه زیست سوخت‌ها می‌پردازیم.

۴- بحث و ارائه نتایج

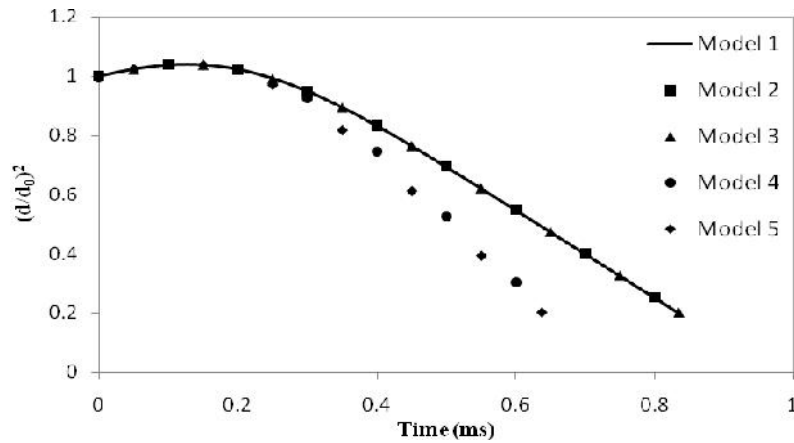
همان‌گونه که در ابتدا اشاره شد، یکی از پیچیده‌گی‌های موجود در مدلسازی تبخیر قطرات سوخت به ویژه در زیست سوخت‌ها، محاسبه خواص ترموفیزیکی فاز بخار در دماهای مختلف است. راهکار پیشنهادی در این پژوهش که به منظور رفع این مشکل مورد ارزیابی قرار گرفته است، جایگزینی خواص هوا با خواص بخار سوخت است. در این پژوهش با بررسی رفتار تبخیری قطره هپتان نرمال به عنوان سوخت فسیلی و روغن دانه پنبه عنوان سوخت زیستی، صحت راهکار پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

برای بررسی راهکار پیشنهادی ابتدا عملکرد تبخیری هپتان نرمال به عنوان سوخت فسیلی و روغن پنبه دانه به عنوان سوخت زیستی بررسی شده است. هپتان نرمال از این جهت انتخاب شده است که سوخت معمول در بسیاری از کاربردهای صنعتی از جمله موتورهای احتراق تراکمی است. روغن پنبه دانه نیز به دلیل موجود بودن اطلاعات مربوط به خواص فاز بخار آن به عنوان نمونه‌ای از زیست سوخت‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. خواص مورد نیاز فاز بخار به منظور مدلسازی رفتار تبخیری قطرات سوخت شامل چگالی، ظرفیت حرارتی مخصوص، لزجت و ضریب هدایت گرمایی می‌شود. از این میان چگالی با فرض رفتار گاز ایده‌آل، که فرض مناسبی است، قابل محاسبه است. ظرفیت حرارتی مخصوص نیز برای هپتان نرمال و تعدادی دیگر از سوخت‌های فسیلی گزارش شده است. همچنین این خاصیت برای تعداد محدودی از سوخت‌های زیستی با ساختاری مشخص قابل محاسبه است. در این میان بیشترین پیچیدگی در مدلسازی تبخیر قطره سوخت مربوط به محاسبه لزجت و ضریب هدایت گرمایی فاز بخار سوخت در دماهای مختلف است که اطلاعات بسیار اندکی در این زمینه به ویژه برای زیست سوخت‌ها در دسترس است. در این بخش ابتدا مدلسازی رفتار تبخیری هپتان نرمال و روغن پنبه دانه با استفاده از خواص فاز بخار خود آنها انجام شده است سپس در ادامه در هر مرحله یکی از خواص هوا جایگزین خواص بخار سوخت آنها شده و رفتار تبخیری قطره سوخت با استفاده از خواص هوا ارزیابی می‌شود. حالت‌های مختلف این مراحل در جدول ۱ آورده شده است.

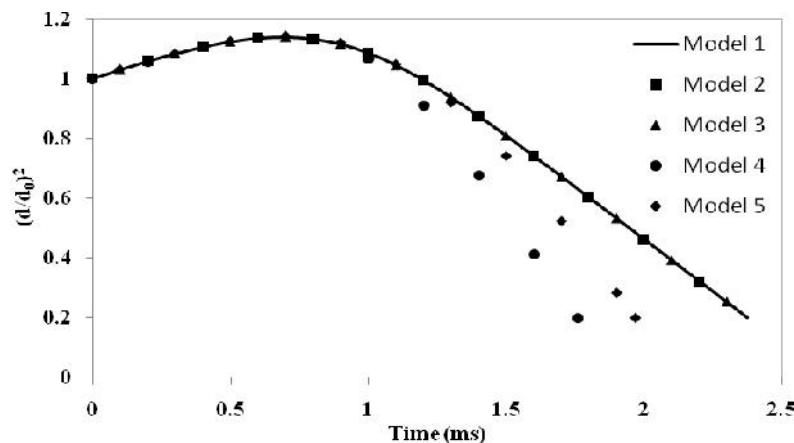
جدول ۱- حالت‌های مختلف خواص فاز بخار در مدلسازی تبخیر قطره سوخت

	چگالی	ظرفیت حرارتی مخصوص	لزجت	ضریب هدایت گرمایی
Model 1	بخار سوخت	بخار سوخت	بخار سوخت	بخار سوخت
Model 2	بخار سوخت	بخار سوخت	بخار سوخت	هوا
Model 3	بخار سوخت	بخار سوخت	هوا	هوا
Model 4	بخار سوخت	هوا	هوا	هوا
Model 5	هوا	هوا	هوا	هوا

در شکل ۳، قطره سوخت هپتان نرمال و در شکل ۴، قطره سوخت روغن دانه پنبه با قطر اولیه ۱۵ میکرون در فشار ۰/۵ مگاپاسکال و دمای ۷۴۹ کلوین تحت شرایط مذکور مقایسه شده‌اند.



شکل ۳- تغییرات قطر نسبی برای تبخیر قطره هپتان نرمال بر حسب زمان در حالت‌های مدلسازی مختلف

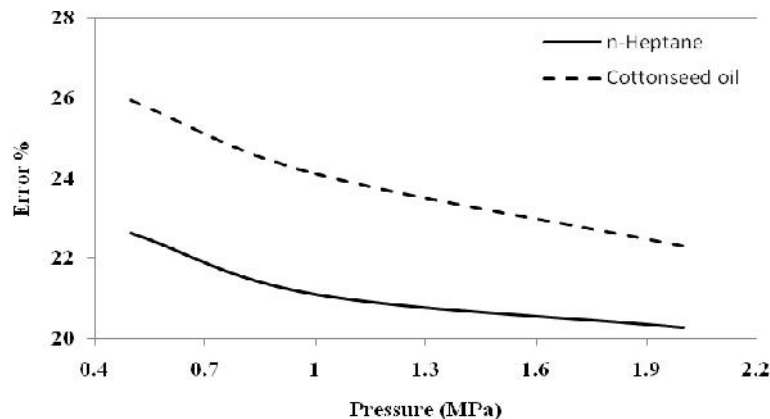


شکل ۴- تغییرات قطر نسبی برای تبخیر قطره روغن پنبه دانه بر حسب زمان در حالت‌های مدلسازی مختلف

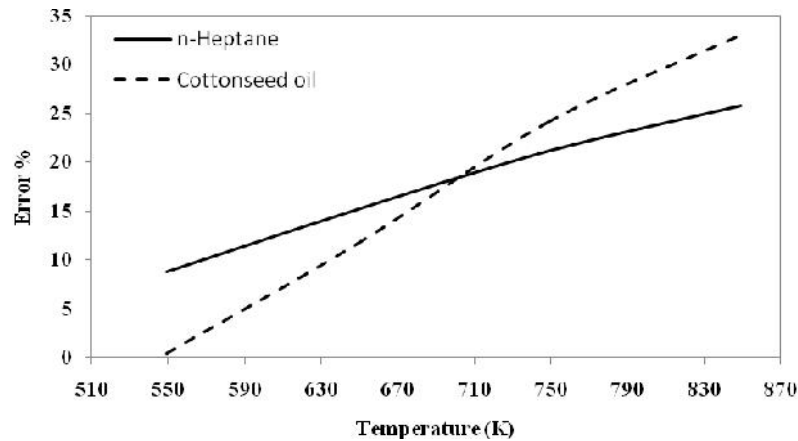
همان‌گونه که در شکل‌های بالا مشاهده می‌شود، با جایگزینی لزجت و ضریب هدایت گرمایی هوا با لزجت و ضریب هدایت گرمایی بخار سوخت تغییری در رفتار تبخیری سوخت حاصل نمی‌شود. همان‌طور که اشاره شد بیشترین پیچیدگی در مدل‌سازی رفتار تبخیری قطره سوخت مربوط به این دو خاصیت بود که با استفاده از فرض ساده‌کننده پیشنهادی این مشکل برطرف می‌شود و می‌توان در مدل‌سازی تبخیر قطرات تمام سوخت‌های فسیلی و همچنین زیستی از لزجت و ضریب هدایت گرمایی هوا استفاده کرد. همچنین برای محاسبه چگالی فاز بخار سوخت‌های مختلف نیاز به داشتن تغییرات آن با دما برای هر سوخت به صورت جداگانه نیستیم و می‌توانیم از قانون گاز ایده‌آل این خاصیت را برای تمام سوخت‌ها به سادگی محاسبه کنیم. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای مدل‌سازی رفتار تبخیری قطرات سوخت‌های متفاوت فقط دانستن نحوه محاسبه ظرفیت حرارتی مخصوص در دماهای مختلف لازم است.

همانطور که در ابتدا اشاره شد، ظرفیت حرارتی مخصوص برای تعدادی از سوخت‌ها قابل محاسبه است و برای دیگر سوخت‌ها به خصوص سوخت‌های زیستی، به دلیل تنوع زیاد آنها، اطلاعاتی در دسترس نیست. در ضمن مشاهده شد که جایگزینی ظرفیت حرارتی مخصوص هوا به جای بخار سوخت، در محاسبات مربوط به تبخیر قطره سوخت خطا ایجاد می‌کند و اطلاع از نحوه تغییر آن با دما برای مدل‌سازی رفتار تبخیری قطرات سوخت الزامی است. حال در مواردی که اطلاعات مربوط به این خاصیت موجود نیست و در ضمن مدل‌سازی تبخیر قطره سوخت حائز اهمیت است، چگونگی کاهش خطای حاصل از جایگزینی این خاصیت با ظرفیت مخصوص حرارتی هوا مفید خواهد بود. به دلیل اهمیت فشار و دمای محیط در رفتار تبخیری قطره، این‌گونه به نظر می‌رسد که تغییر این دو پارامتر می‌تواند راهکاری برای کاهش خطای حاصل از جایگزینی ظرفیت مخصوص حرارتی هوا با ظرفیت مخصوص حرارتی بخار سوخت باشد.

در بررسی رفتار تبخیری قطرات سوخت یکی دیگر از پارامترهای مهم، نفوذ جرمی بخار مایع در هوا است. هر چه نفوذ جرمی بخار مایع در هوا پارامتر بیشتر باشد، خطای حاصل از جایگزینی خواص هوا با خواص بخار سوخت بیشتر می‌شود و بالعکس با کاهش آن خطای این فرض کاهش می‌یابد. با توجه به این مطالب می‌توان دریافت که در موارد لزوم جایگزینی خواص هوا با خواص بخار سوخت به دلیل نبود اطلاعات کافی برای محاسبه خواص فاز بخار در مدل‌سازی رفتار تبخیری قطرات سوخت، کاهش نفوذ جرمی بخار مایع در هوا موجب کاهش خطا خواهد شد. حال این سوال مطرح می‌شود که چگونه می‌توان نفوذ جرمی بخار مایع در هوا را کاهش داد یا به عبارت دیگر چه پارامتر یا پارامترهایی در کاهش و یا افزایش این خصوصیت مهم و در نتیجه خطا نقش دارند.



شکل ۵- تغییرات خطای زمان تبخیر قطره سوخت بر حسب فشار محیط برای هپتان نرمال و روغن پنبه دانه در اثر جایگزینی ظرفیت مخصوص حرارتی هوا با ظرفیت مخصوص حرارتی بخار سوخت



شکل ۶- تغییرات خطای زمان تبخیر قطره سوخت بر حسب دمای محیط برای هپتان نرمال و روغن پنبه دانه در اثر جایگزینی ظرفیت مخصوص حرارتی هوا با ظرفیت مخصوص حرارتی بخار سوخت

با توجه به این منحنی‌ها، می‌توان دریافت که با افزایش فشار محیط، خطای حاصل کمتر می‌شود. برای دمای محیط این رفتار متفاوت است و مشاهده می‌شود که با افزایش دما خطا افزایش می‌یابد. این رفتار هم در هپتان نرمال و هم روغن پنبه دانه به عنوان نمونه ای از سوخت‌های مختلف یکسان است. دلیل این امر وابسته بودن نفوذ جرمی بخار مایع در هوا به فشار و دمای محیط است. همانطور که اشاره شد، هرچه این نفوذ کمتر باشد فرض استفاده از خواص هوا به جای خواص سوخت خطای کمتری وارد محاسبات تبخیری قطره سوخت می‌کند. در ضمن اشاره شد که برای تمام سوخت‌ها نفوذ جرمی بخار در هوا با فشار رابطه عکس و با دما رابطه مستقیم دارد با توجه به این مطلب می‌توان به علت کاهش خطا با افزایش فشار و افزایش خطا با افزایش دما پی برد. همچنین متفاوت بودن خطا در هپتان نرمال و روغن پنبه دانه در فشارها و دماهای مختلف را می‌توان به دلیل متفاوت بودن نفوذ جرمی بخار آنها در فشارها و دماهای مختلف دانست. پس می‌توان این طور نتیجه گرفت که هرچه فشار محیط بیشتر و دمای محیط کمتر باشد راهکار جایگزینی خواص هوا با خواص بخار سوخت در مدل‌سازی رفتار تبخیری قطره سوخت دقیق‌تر عمل می‌کند.

۵- جمع‌بندی

یکی از پیچیده‌گی‌های موجود در مدل‌سازی تبخیر قطرات سوخت به ویژه در زیست سوخت‌ها، محاسبه خواص ترموفیزیکی فاز بخار در دماهای مختلف است. یک فرض ساده کننده که به عنوان راهکار پیشنهادی برای اولین بار در این پژوهش ارائه شد و مورد ارزیابی قرار گرفت، استفاده از خواص هوا به جای خواص بخار سوخت است. در این مقاله یک کد صفر بعدی برای ارزیابی صحت این موضوع در مطالعات مربوط به رفتار تبخیر قطره سوخت توسعه یافته است. به منظور اطمینان از صحت کد مورد نظر، نتایج کد مذکور با برخی داده‌های تجربی گزارش شده توسط محققان دیگر در شرایط مشابه مقایسه شد و هماهنگی قابل قبولی مشاهده شد.

از میان خواص مورد نیاز برای مدل‌سازی رفتار تبخیری قطره سوخت کمترین اطلاعات گزارش شده مربوط به لزجت و ضریب هدایت گرمایی در فاز بخار است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که جایگزینی لزجت و ضریب هدایت گرمایی هوا با لزجت و ضریب هدایت گرمایی بخار سوخت‌ها اعم از سوخت‌های فسیلی و همچنین زیست سوخت‌ها خطایی در محاسبات مربوط به تبخیر قطره وارد نمی‌کند. از میان دو خاصیت دیگر چگالی با فرض گاز ایده‌آل برای فاز بخار تمام سوخت‌ها به سادگی قابل محاسبه است. بررسی‌ها نشان داد که به منظور مدل‌سازی دقیق رفتار تبخیری قطرات سوخت اعم از فسیلی یا

زیستی اطلاع از مقدار و نحوه وابستگی ظرفیت مخصوص حرارتی سوخت با تغییرات دما الزامی است و نمی‌توان آن را با خواص هوا جایگزین نمود. اما متأسفانه با تنوع زیست سوخت‌ها و پیچیدگی‌های ساختار مولکولی آنها، محاسبه این خاصیت مشکل است. در موارد لزوم مدلسازی رفتار تبخیری قطرات می‌توان ظرفیت مخصوص حرارتی هوا را استفاده کرد که البته محاسبات مربوط را دچار خطا می‌کند. نتایج نشان داد که افزایش فشار موجب کاهش خطا و افزایش دما به افزایش خطا منجر می‌شود. دلیل این امر وابستگی نفوذ جرمی بخار مایع سوخت به فشار و دمای محیط است. نفوذ جرمی بخار مایع سوخت پارامتری است که به نحوی خطای حاصل از راهکار پیشنهادی در این پژوهش را تعیین می‌کند. با افزایش فشار نفوذ جرمی بخار مایع سوخت کمتر و در نتیجه خطا کاهش می‌یابد و بالعکس با افزایش دما نفوذ جرمی بخار مایع سوخت بیشتر و موجب افزایش خطا می‌شود.

مراجع

- امیدوار، ا. و امینی، ا. "پیش بینی خواص فیزیکی و مشخصات قطره‌سازی زیست سوخت به دست آمده از ریزجلبک کلامیدوموناس"، نشریه علمی پژوهشی سوخت و احتراق، سال سوم شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۸۹
- خالقی، ح.، امیدوار، ا.، خسروداد، ع. و یزدانی، م. "تحلیل رژیم‌های تبخیر گذرا و دائم برای یک قطره سوخت بیودیزل و مقایسه آن با دیزل معمولی" ایران، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۴-۲۶ اردیبهشت ۱۳۸۷
- 3- McCormick, Robert L., et al. "Impact of biodiesel source material and chemical structure on emissions of criteria pollutants from a heavy-duty engine." *Environmental Science & Technology* 35.9 (2001): 1742-1747.
- 4- Fernando, Sandun, Chris Hall, and Saroj Jha. "NO_x reduction from biodiesel fuels." *Energy & Fuels* 20.1 (2006): 376-382.
- 5- Yuan, W., A. C. Hansen, and Q. Zhang. "Predicting the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels." *Fuel* 88.6 (2009): 1120-1126.
- 6- Ramírez-Verduzco, Luis Felipe, Javier Esteban Rodríguez-Rodríguez, and Alicia del Rayo Jaramillo-Jacob. "Predicting cetane number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition." *Fuel* 91.1 (2012): 102-111.
- 7- Oliveira, Amanda C., Luiz F. Moura, and Dilson Cardoso. "Method of contribution of groups to estimate thermodynamic properties of components of biodiesel formation in liquid phase." *Fluid Phase Equilibria* 317 (2012): 59-64.
- 8- Blangino, E., A. F. Riveros, and S. D. Romano. "Numerical expressions for viscosity, surface tension and density of biodiesel: analysis and experimental validation." *Physics and Chemistry of Liquids* 46.5 (2008): 527-547.
- 9- Allen, C. A. W., and K. C. Watts. "Comparative analysis of the atomization characteristics of fifteen biodiesel fuel types." *Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers* 43.2 (2000): 207-212.
- 10- Som, S., et al. "A comparison of injector flow and spray characteristics of biodiesel with petrodiesel." *Fuel* 89.12 (2010): 4014-4024.
- 11- Li, Y. F., and W. K. Chow. "Study of water droplet behavior in hot air layer in fire extinguishment." *Fire technology* 44.4 (2008): 351-381.
- 12- Baumgarten, Carsten. *Mixture formation in internal combustion engines*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.
- 13- Nomura, Hiroshi, et al. "Experimental study on high-pressure droplet evaporation using microgravity conditions." *Symposium (International) on Combustion*. Vol. 26. No. 1. Elsevier, 1996.